

ارزیابی خرابی پیشرونده در ساختمان‌های بتن مسلح دارای دیوار برشی با بازشو با لحاظ کردن موقعیت و مشخصات بازشوها

رحمت مدندوست^۱، رضا بهمنی^۲

۱- دانشیار دانشکده عمران دانشگاه گیلان

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه دانشگاه گیلان

rezabahmani.ce@gmail.com

چکیده

خرابی پیشرونده را می‌توان گسترش زنجیروار خرابی که با آسیب جزئی و موضعی در یک سازه در اثر خطرات طبیعی یا انسانی آغاز می‌شود، تعریف نمود. گسیختگی می‌تواند در حین رخداد زلزله‌های شدید به علت ضعف در طراحی یا اجرای سازه رخ دهد. عدم توانایی اعضای مجاور عضو آسیب دیده در بازتوزیع اضافه بار باعث می‌شود خرابی به صورت زنجیروار گسترش یابد تا این که به خرابی موضعی گسترده یا کلی سازه منتج شود. استفاده از دیوارهای برشی در ساختمان‌ها به دلیل سختی و ظرفیت تحمل بالا موجب می‌شود که مقاومت ساختمان به طور قابل توجهی افزایش یابد. اما برخی محدودیت‌های معماری، تعبیه بازشو در دیوارهای برشی را اجتناب ناپذیر می‌نماید که این امر بر رفتار دیوار برشی تأثیر می‌گذارد.

در این مقاله، رفتار سازه‌های بتن مسلح در برابر خرابی پیشرونده، با حذف ستون و دیوارهای برشی تحت بارهای ثقلی و لرزه‌ای بررسی می‌شود. دیوارها دارای بازشوهایی در موقعیت و ابعاد متفاوت می‌باشند. ساختمان‌های ۴، ۸ و ۱۲ طبقه با موقعیت و درصد بازشوهایی متفاوت پس از طراحی اولیه، در نرم افزار ۳D-PERFORM مدل‌سازی شده و تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی و دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی جهت بررسی عملکرد دیوارها در خرابی پیشرونده انجام شده است. نتایج تحلیل‌ها نشان می‌دهد که ایجاد بازشو در ابعاد و موقعیت مختلف بر روی عملکرد دیوار برشی تأثیر گذاشته و باعث ایجاد تغییر رفتار سازه در برابر تشکیل مفاصل و خرابی می‌گردد.

کلمات کلیدی: خرابی پیشرونده، سازه‌های بتن مسلح، دیوارهای برشی، بازشو

کد A

۱ - مقدمه

خرابی پیشرونده در کتابی که توسط موسسه ملی استاندارد و تکنولوژی آمریکا تدوین شده است به این صورت تعریف می‌گردد: «گسیختگی پیشرونده، انتشار شکست‌های موضعی اولیه از عضوی به عضوی دیگر می‌باشد که سرانجام آن فرو ریزش کامل ساختمان یا فرو ریزش قسمت بزرگی از آن بوده به طوری که با خرابی اولیه نامتناسب می‌باشد» [۱].

بطور کلی ساختمان‌ها برای شرایط بارگذاری با احتساب انفجارهای گاز، انفجارهای بمب، برخورد های وسایل نقلیه، تصادف های هواپیما، طوفان، گردباد و از این قبیل بارها طراحی نمی‌شوند. از این رو زمانی که ساختمان‌ها در معرض چنین بارهای غیر معمولی قرار می‌گیرند، ممکن است متحمل آسیب‌های بزرگی شوند. ساختمان‌ها باید طوری طراحی شوند که بتوانند خرابی موضعی را با یکپارچه کردن اعضای سازه‌ای، بهبود بازپخش انرژی و توزیع مجدد بارها (با ایجاد مسیرهای جایگزین انتقال بار) محدود نموده و در مقابله با بارهای غیر معمول مقاومت کنند [۲].

توجه جامعه مهندسی در ابتدا بعد از انهدام بخشی از ساختمان رونان پونت^۱ در لندن در سال ۱۹۶۸ به این موضوع معطوف شد و بعد از حوادث ۱۱ سپتامبر ۲۰۰۱ مرکز تجارت جهانی^۲، چندین کمیته استاندارد سازی جهت بهبود استانداردهای روش های طراحی در برابر خرابی پیشرونده شروع به کار کردند [۳].

جینکو کیم و تانیوان کیم^۳ در سال ۲۰۰۸ به ارزیابی پتانسیل خرابی پیشرونده قاب‌های خمشی فولادی که بر اساس آیین نامه طراحی سازه‌های فولادی کره و به روش LRFD^۴ طراحی شده بودند، پرداختند. در این پژوهش مشاهده شد که پتانسیل خرابی پیشرونده هنگامی که ستون‌های گوشه سازه حذف شوند، افزایش می‌یابد. از طرف دیگر مشاهده شد که با افزایش تعداد طبقات پتانسیل خرابی پیشرونده در سازه کاهش می‌یابد. لازم به ذکر است که در این تحقیق کلیه اتصالات به صورت کاملاً صلب در نظر گرفته شد [۴].

ویوو و لاو^۵ در سال ۲۰۰۹ مروری کوتاه بر پدیده خرابی پیشرونده در سازه‌ها را ارائه کردند. روش‌ها و الزامات چندین استاندارد برای جلوگیری از خرابی پیشرونده بحث شد. محدودیت‌ها و مزایای روش‌های تحلیل در دسترس برای ارزیابی خرابی پیشرونده سازه‌ها خلاصه گردید. اهمیت تاثیر بار لرزه‌ای در رفتار خرابی پیشرونده سازه‌ها نیز بحث گردید. استنباط شد که خرابی پیشرونده لرزه‌ای سازه‌ها می‌تواند با اصلاح روش‌های جاری تحلیل گردد [۵].

هار تانتو ویوو و سیلونا رشوتکینا^۶ در سال ۲۰۰۹ با استفاده از روش APM^۷ خرابی پیشرونده در پل‌های بتنی را در طول زلزله مدل سازی کردند. نتایج تاثیر قابل توجه پدیده خرابی پیشرونده در عملکرد پل‌ها در طول زلزله را نشان می‌دهد. همچنین نیاز بر در نظر گرفتن سازوکار خرابی پیشرونده در ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سازه‌های جدید تاکید شده و اعلام گردید که پدیده خرابی پیشرونده می‌تواند در طول زلزله ایجاد گردد و محدود به بار ثقلی و انفجار نیست و روش APM^۷ می‌تواند رفتار خرابی پیشرونده پل‌ها را پیش بینی کند [۶].

خان محمدی و دادگر در سال ۲۰۱۲ در تحقیقی با استفاده از روش‌های تیر-ستونی اصلاح شده مبتنی بر رویکردهای ASCE^۸ و FEMA^۹ اثر نوع و میزان بازشدگی با نامنظمی متعارف در چیدمان بازشوها را بررسی کردند. از نتایج این تحقیق این بود که نزدیکتر کردن بازشوها به کناره‌های دهانه دیوار تا حدی که رفتار اجزاء مرزی دیوار را تحت تأثیر قرار ندهد، می‌تواند رفتار دیوار را بهبود بخشد [۷].

زهرائی و همکاران در سال ۲۰۱۶ پتانسیل خرابی پیشرونده در سازه‌های ۴، ۸ و ۱۲ طبقه بتنی را تحت بارهای لرزه‌ای مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاکی از آن بود که حذف دیوار برشی از سازه باعث کاهش مقاومت سازه، کاهش ظرفیت سازه، افزایش جابجایی نسبی بام می‌شود و شدت پاسخ‌ها با افزایش تعداد طبقات کاهش می‌یابد. در واقع آسیب دیدگی دیوار برشی در سازه‌های کوتاه تاثیر خرابی پیشرونده را بیشتر افزایش می‌دهد [۸].

امروزه در ساختمان‌های بتنی جهت مقابله با نیروهای جانبی و تأمین پایداری جانبی و سختی مناسب، استفاده از دیوار برشی امری الزامی است. از طرفی در برخی موارد به جهت ملاحظات معماری، تعبیه بازشو در دیوار برشی اجتناب ناپذیر می‌باشد. سیستم‌های سازه‌ای دارای عملکرد مختلفی در سناریوی خرابی پیشرونده می‌باشند، بدین منظور در این پژوهش عملکرد ساختمان‌های بتنی با دیوار برشی بازشودار تحت خرابی پیشرونده مورد بررسی قرار گرفته

- 1 - Ronan Point
- 2 - World Trade Center
- 3 - Jinkoo Kim & Teawan Kim
- 4 - Load Resistance Factor Design
- 5 - Wibowo & Lau
- 6 - Hartanto Wibowo & Silvena Reshotkina
- 7 - Alternative Path Method
- 8 - American Society of Civil Engineers
- 9 - Federal Emergency Management Agency

است. این ارزیابی از طریق تحلیل های استاتیکی غیرخطی و دینامیکی غیرخطی تحت بارهای لرزه ای و با استفاده از نرم افزار 3D-PERFORM در مدل های سه بعدی انجام شده است. نتایج استخراج شده از این تحلیل ها شامل تغییر مکان جانبی نسبی طبقات و نحوه ی تشکیل مفاصل خمیری اعضای می باشد.

۲- مدل های مورد مطالعه

ساختمان های مورد مطالعه دارای پلاتی به صورت تیپ در تمام طبقات دارای ۳ دهانه ۵ متری در هر دو جهت طولی و عرضی می باشند. در تمام مدل های سازه ای ارتفاع تمام طبقات یکسان و برابر ۳ متر می باشد. سازه های ساختمانی مورد نظر با کاربری مسکونی در منطقه ای با خاک نوع □ و شدت لرزه خیزی نسبی متوسط قرار گرفته اند. سیستم سازه ای از نوع دوگانه، قاب خمشی بتن مسلح متوسط به همراه دیوار برشی بتن مسلح متوسط می باشد. مدلهایی که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته اند، سازه های بتنی ۴، ۸ و ۱۲ طبقه می باشند. مدل های ۴ طبقه شامل دیوار برشی دارای باز شو به مساحت ۱۰ و ۱۵ درصد سطح دیوار و مدل های ۸ و ۱۲ طبقه دارای باز شو به مساحت ۱۰ درصد سطح دیوار می باشند. باز شوها در تمامی مدل ها به صورت میانی (Middle)، گوشه (Corner) و یک در میان در گوشه ها (Stagger) جانمایی شده اند و در مجموع ۱۲ مدل بررسی شده است.

در این تحقیق برای تعیین نیروهای زلزله از آیین نامه ۲۸۰۰ ایران [۹]، برای طراحی سازه از مبحث ۹ مقررات ملی [۱۰]، برای تعیین مشخصات مفاصل خمیری از آیین نامه ۳۵۶ FEMA (نشریه شماره ۳۶۰) [۱۱]، برای بارگذاری از مبحث ششم مقررات ملی [۱۲] و در نهایت برای بحث خرابی پیشرونده از آیین نامه GSA [۱۳] استفاده شده است.

سازه پس از طراحی اولیه در نرم افزار ETABS برای انجام تحلیل های غیرخطی در نرم افزار 3D-PERFORM به صورت ۳ بعدی مدلسازی شده است. برای مدلسازی غیرخطی اجزاء سازه ای از مفاصل خمیری متمرکز استفاده شده است. برای مدلسازی غیرخطی دیوار برشی ابتدا مواد بتنی و فولادی با خصوصیات غیرخطی تعریف شده و سپس با استفاده از المان الیافی (Structure Fibers) مدلسازی شده اند.

جدول (۱): مقاطع و میلگردهای طولی مدل شده در سازه های ۴ طبقه

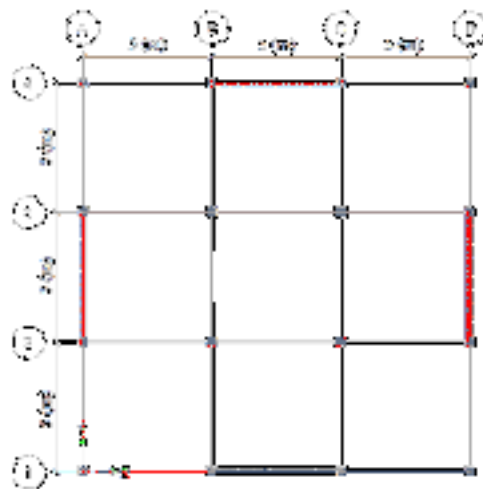
سازه های چهار طبقه			
طبقه	مقطع ستون (cm)	مقطع تیر (cm)	آرماتور دیوار برشی
اول تا چهارم	35×35 – 12Φ14	30×30 – 8Φ14	Φ۱۲ @ ۲۵

جدول (۲): مقاطع و میلگردهای طولی مدل شده در سازه های ۸ طبقه

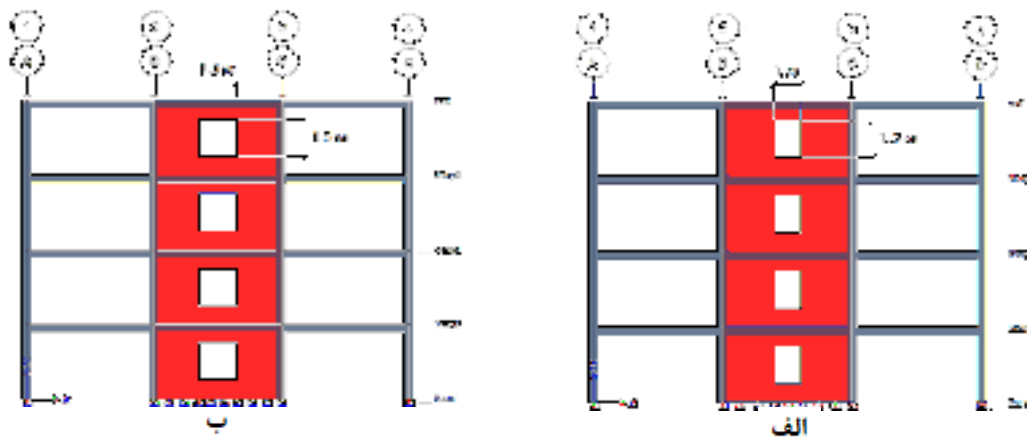
سازه های هشت طبقه			
طبقه	مقطع ستون (cm)	مقطع تیر (cm)	آرماتور دیوار برشی
اول تا چهارم	40×40 – 12Φ16	35×35 – 10Φ14	Φ۱۴ @ ۲۵
پنجم تا هشتم	35×35 – 12Φ14	30×30 – 10Φ14	Φ۱۲ @ ۲۵

جدول (۳): مقاطع و میلگردهای طولی مدل شده در سازه های ۱۲ طبقه

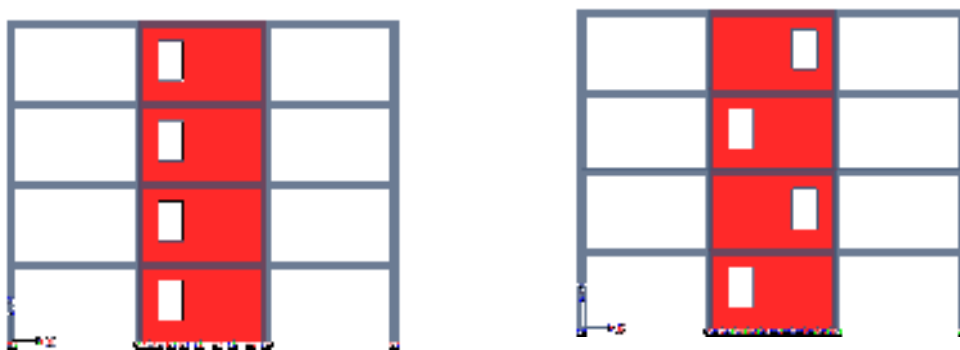
سازه های دوازده طبقه			
طبقه	مقطع ستون (cm)	مقطع تیر (cm)	آرماتور دیوار برشی
اول تا چهارم	45×45 – 12Φ18	40×40 – 12Φ14	Φ۱۶ @ ۲۵
پنجم تا هشتم	40×40 – 12Φ16	35×35 – 12Φ14	Φ۱۴ @ ۲۵
نهم تا دوازدهم	35×35 – 12Φ14	30×30 – 12Φ14	Φ۱۲ @ ۲۵



شکل (۱): پلان سازه‌های مدل شده



شکل (۲): ابعاد بازشوها ۱۰ درصد در سازه‌های ۴، ۸ و ۱۲ طبقه (الف) و بازشوهای ۱۵ درصد در سازه‌های ۴ طبقه (ب)



شکل (۳): مدل Stagger (یک در میان در گوشه) شکل سمت راست و مدل Corner (گوشه) شکل سمت چپ

دیوارهای برشی واقع در محور شماره یک بازشودار می‌باشند. در شکل‌های (۲) و (۳) ابعاد و مشخصات بازشوهای به کار رفته در مدل‌ها مشخص می‌باشد. برای سازه‌های ۴ طبقه دو مدل ابعادی بازشو و برای سازه‌های ۸ و ۱۲ طبقه، یک مدل ابعادی بازشو در نظر گرفته شده است. ضخامت دیوارهای برشی بازشودار ۲۵ سانتیمتر و بدون بازشو ۲۰ سانتیمتر و فاصله بازشوها از لبه دیوار در تمامی مدل‌ها ۷۵ سانتیمتر می‌باشد.

۳- روش تحقیق

برای ارزیابی پتانسیل خرابی پیشرونده از روش مسیر بار جایگزین استفاده شده است. بر اساس این روش یکی از اجزای سازه‌ای که دچار خرابی موضعی شده است از سازه حذف می‌شود و سازه بدون داشتن عضو آسیب دیده تحلیل می‌شود. پس از تحلیل بررسی می‌شود حذف این جزء در نحوه‌ی بازتوزیع نیروها چه تاثیری دارد. ارزیابی‌ها از طریق تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی و دینامیکی غیرخطی در مدل‌های سه بعدی تحت حالات با خرابی موضعی و بدون خرابی موضعی انجام شده است.

در این تحقیق پتانسیل خرابی پیشرونده در سازه با فرض آسیب دیدگی دیوار برشی و ستون‌ها بررسی شده است، به عبارت دیگر فرض شده است به محض وقوع زلزله، سازه یکی از اجزاء خود (به عنوان مثال دیوار برشی و یا ستون گوشه واقع در طبقه همکف) را از دست می‌دهد و بدون داشتن این عضو در معرض بار لرزه‌ای قرار می‌گیرد. سپس، تاثیر حذف عضو بر روی سازه‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. جهت انجام این امر سازه‌های آسیب دیده تحت آنالیز دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی شتاب نگاشت‌های مقیاس شده زلزله‌های Mulholland ۱۴۱۴۵، Northridge ۱۹۹۴، El Centro و Loma Prieta Gilroy station ۱ قرار گرفتند.

۴- نتایج

در این بخش نتایج حاصل از تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی و دینامیکی غیرخطی برای سازه‌های مذکور ارائه شده است. در این مرحله جهت مقایسه حالات با خرابی و بدون خرابی و انجام محاسبات خرابی پیشرونده، سازه‌های سالم تحت آنالیز استاتیکی غیرخطی براساس توصیه آیین نامه FEMA۳۵۶ قرار گرفتند. بارگذاری مورد استفاده جهت تحلیل بارگذاری یکنواخت می‌باشد. با توجه به منحنی ظرفیت ارائه شده نمونه‌ها در برنامه PERFORM-۳D توسط روش ضرایب FEMA۳۵۶ تغییر مکان هدف در یک روند سعی و خطا محاسبه شد. پس از آن در این تغییر مکان نمودار ظرفیت سازه دو خطی شده و پارامترهای تسلیم و مقاومت نهایی (مقاومت نظیر تغییر مکان هدف) از نمودار استخراج شده است. در ادامه با داشتن تغییر مکان‌های نهایی و تسلیم، شکل پذیری سازه با توجه به رابطه (۱) محاسبه شد. با دو خطی کردن نمودار پریود موثر سازه (T_e) طبق رابطه (۲) به دست آمده و در نهایت $R\mu$ با داشتن دو پارامتر شکل پذیری و پریود موثر سازه محاسبه شده است. به منظور محاسبه RS نیاز به پارامتر VS (برش متناظر با اولین نقطه تسلیم) بوده است که با توجه به قابلیت برنامه در رسم نمودار در محدوده دلخواه، این برش استخراج شده و پس از آن پارامتر ضریب اضافه مقاومت محاسبه شد. در نهایت ضریب رفتار نمونه‌ها با ضرب $R\mu$ در RS به دست آمده است.

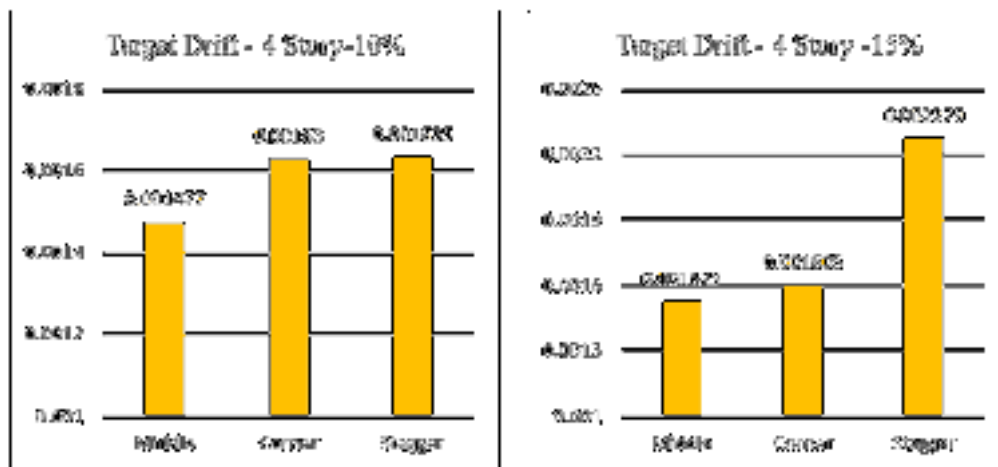
$$\mu = \frac{d_{\max}}{d_y} \quad (1)$$

که در آن μ ، $d_{\max}$ و d_y به ترتیب شکل پذیری سازه، تغییر مکان‌های نهایی و تسلیم می‌باشند.

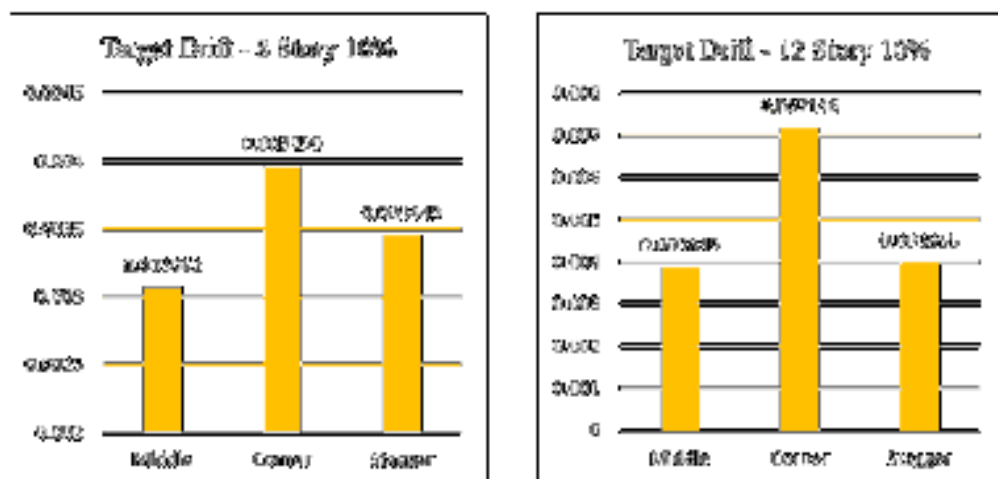
$$T_e = T_i \times \sqrt{\frac{k_i}{k_e}} \quad (2)$$

که در آن T_e پریود موثر سازه، T_i زمان تناوب اصلی، k_i سختی جانبی سازه در حالت ارتجاعی و k_e سختی موثر می‌باشد.

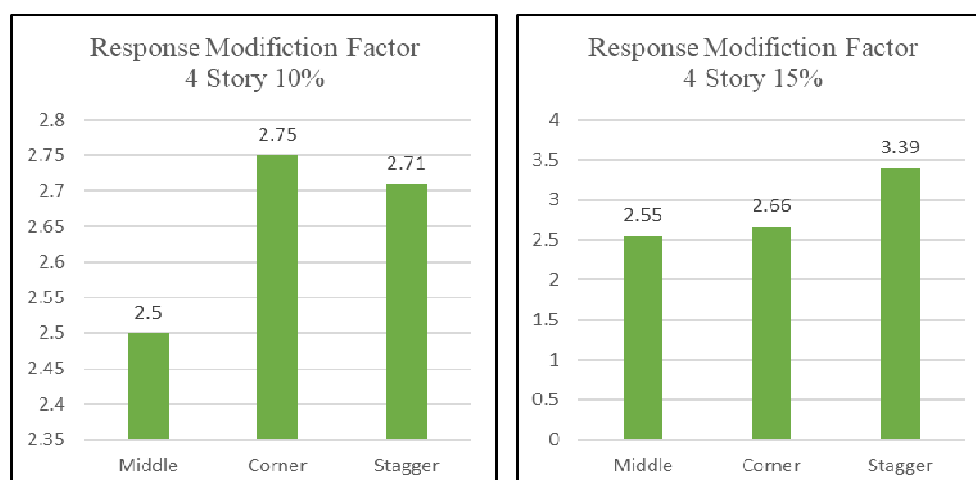
در شکل‌های (۴) و (۵) نمودارهای مقایسه‌ای نتایج تحلیل بار افزون جانبی سازه‌ها در بارگذاری یکنواخت چپ به راست آورده شده است. همانطور که در نمودارهای مربوطه مشخص است، دیوارهایی که بازشوهای آنها در گوشه و یک در میان در گوشه قرار گرفته‌اند، تغییر مکان‌های هدف بیشتری را تجربه کردند. در نمونه‌های چهار طبقه تعبیه بازشوهای ۱۵ درصد یک در میان در گوشه باعث افزایش بیشتر تغییر مکان هدف گردیده است. در دیوارهای برشی با بازشوی غیر هم راستا، به دلیل عدم تقارن و برابر نبودن مقطع بتن در پایه‌ها، رفتار دیوارها در جهت بحرانی تر دیوار در این بخش آورده شده است. در شکل‌های (۶) و (۷) نمودارهای مقایسه‌ای ضریب رفتار سازه‌ها در تمامی مدل‌ها نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود با جانمایی بازشوها در گوشه، سازه‌ها شاهد افزایش ضریب رفتار هستند.



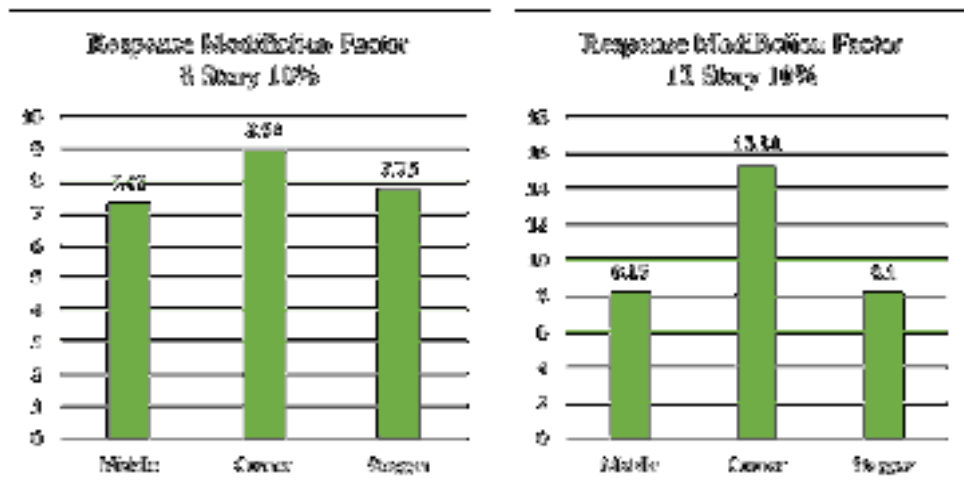
شکل (۴): نمودار تغییر مکان هدف سازه‌های چهار طبقه



شکل (۵): نمودار تغییر مکان هدف سازه‌های هشت و دوازده طبقه



شکل (۶): ضریب رفتار سازه‌های ۴ طبقه

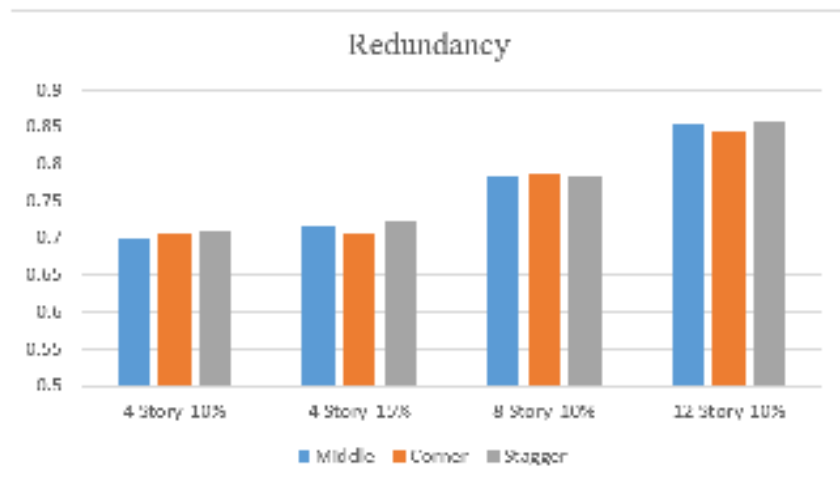


شکل (۷): ضریب رفتار سازه‌های ۸ و ۱۲ طبقه

برای مقایسه‌ی این موضوع که افزایش یا کاهش طبقات چه تاثیری در سناریوی خرابی پیشرونده در سازه‌های مورد بحث دارد باید به سراغ شاخص تنومندی رفت. شاخص تنومندی به عنوان عدم حساسیت سازه به خرابی موضعی تعریف می‌شود. هرچه این شاخص به ۱ نزدیک‌تر باشد به این معناست که سازه در برابر خرابی پیشرونده مقاوم‌تر است؛ و هر چقدر به صفر نزدیک‌تر باشد یعنی پتانسیل خرابی پیشرونده در سازه بیشتر است. بدین منظور با فرض آسیب دیدگی دیوار برشی طبقه اول به همراه ستون کناریش که در شکل (۸) مشخص شده است، سازه‌ها تحت تحلیل بار افزون قرار گرفتند و شاخص استواری نمونه‌ها محاسبه گردید. در این تحقیق برای ارزیابی شاخص استواری در سازه‌ها، از روش سختی استفاده شده است. در این روش، سختی سازه‌های سالم و آسیب دیده محاسبه شده و سپس با تقسیم سختی سازه‌ی آسیب دیده به سختی سازه‌ی سالم شاخص استواری سازه محاسبه می‌گردد. برای این منظور سازه‌ی سالم و سازه‌ی آسیب دیده، در معرض بار جانبی و تحلیل بار افزون قرار می‌گیرد. در شکل (۹) نمودار مقایسه‌ای شاخص استواری سازه‌ها آورده شده است. همانطور که در شکل مربوطه مشخص است، با افزایش تعداد طبقات شاخص استواری افزایش یافته و سازه‌ها در برابر خرابی موضعی مقاوم‌تر می‌شوند. نمونه‌های با باز شو یک در میان در گوشه در اغلب سازه‌ها عملکرد نسبتاً بهتری داشته‌اند.

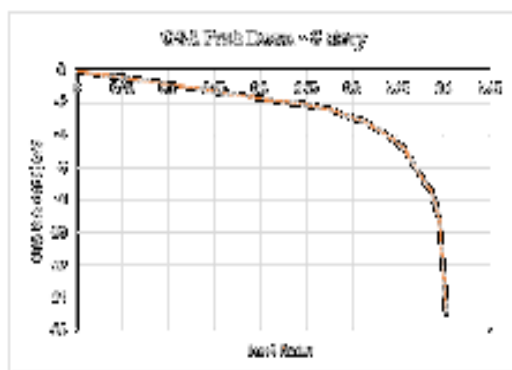


شکل (۸): مدل خرابی دیوار برشی طبقه اول به همراه ستون کناریش

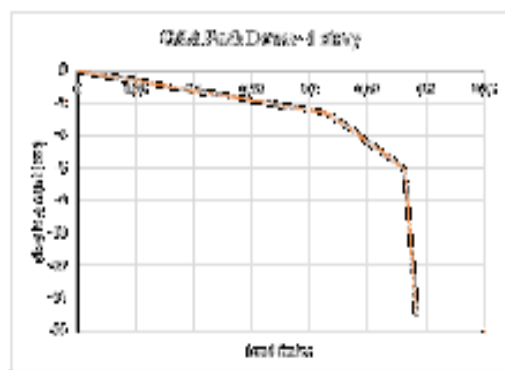


شکل (۹): شاخص استواری در سازه‌های بررسی شده

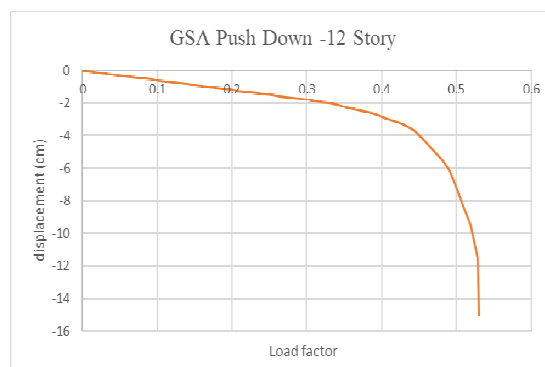
در این قسمت مقاومت خرابی پیشرونده در روش تحلیل بار افزون عمودی استاتیکی غیرخطی، با ضریب بار متناظر با جابجایی قائم محل حذف ستون در هر مرحله که روش جابجایی - کنترل می‌باشد، بیان شده است. بر اساس آیین نامه‌ی GSA در تحلیل استاتیکی غیرخطی بار افزون پس از حذف عضو مورد نظر، بار ثقلی در دهانه‌ی آسیب دیده در ضریب ۲ ضرب می‌شود و سپس سازه تحت بار ثقلی یا جانبی تحلیل می‌شود. با توجه به شکل‌های (۱۰)، (۱۱)، و (۱۲) می‌توان مشاهده کرد که افزایش تعداد طبقات، باعث افزایش ضریب بار و در نتیجه افزایش مقاومت سازه در برابر خرابی پیشرونده در موقعیت حذف ستون گوشه می‌شود.



شکل (۱۱): منحنی بار افزون عمودی سازه ۴ طبقه

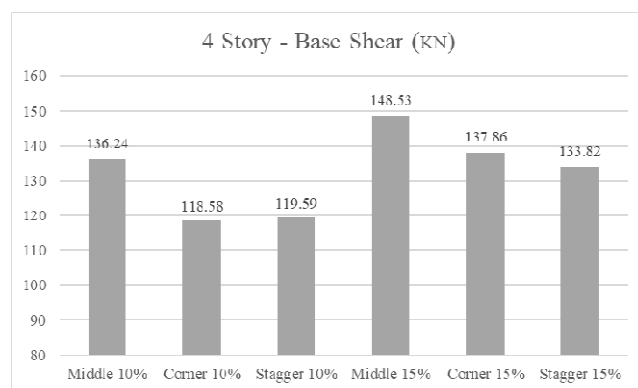


شکل (۱۰): منحنی بار افزون عمودی سازه ۸ طبقه



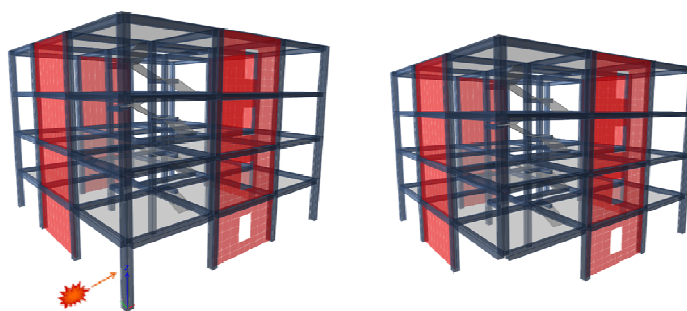
شکل (۱۲): منحنی بار افزون عمودی سازه ۱۲ طبقه

در شکل (۱۳) نمودار مقایسه‌ای برش حداکثر حاصل از آنالیز دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی وارد بر ستون‌های طبقه اول تحت شتاب نگاشت نورتریج در سازه‌های پیش از خرابی ارائه شده است. همانطور که مشخص است با جانمایی بازشوها در گوشه، سازه‌ها شاهد کاهش نیروی وارده در سازه‌های چهار طبقه هستند.

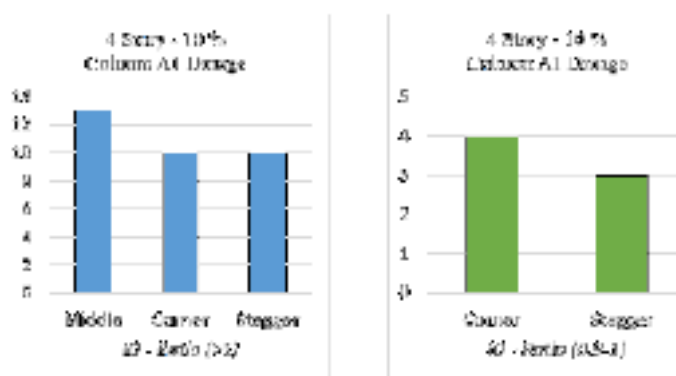


شکل (۱۳): برش حداکثر حاصل از آنالیز دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی

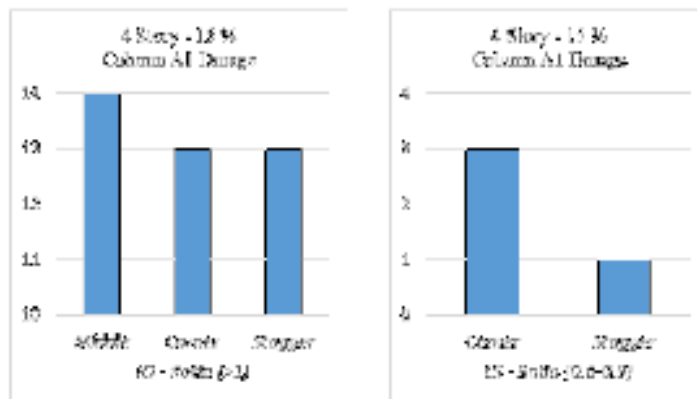
در بحث خرابی سازه‌ها طبق تحقیقات گذشتگان ستون‌های گوشه (بیرونی) بیشترین پتانسیل آسیب پذیری را دارند. لذا در این قسمت با فرض خرابی این ستون‌ها (مطابق شکل ۱۴)، سازه‌ها را تحت زلزله لوما پریتا مورد ارزیابی قرار داده و نتایج آن در شکل‌های (۱۵) و (۱۶) آورده شده‌اند. همانطور که مشخص است نمونه‌های با بازشو واقع در گوشه و یک در میان در گوشه از نمونه‌های با بازشو واقع در وسط دیوار عملکرد بهتری داشته و همچنین نمونه‌های یک در میان در گوشه وضعیت بهتری نسبت به نمونه‌های با بازشو واقع در گوشه دیوار دارند.



شکل (۱۴): خرابی ستون گوشه طبقه اول A1

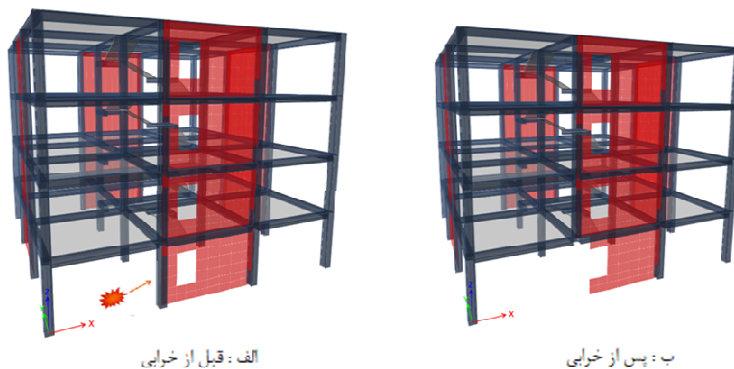


شکل (۱۵): نمودار مقایسه تعداد مفاصل تشکیل شده در اثر خرابی ستون کناری سازه‌های ۴ طبقه با بازشو ۱۰ درصد

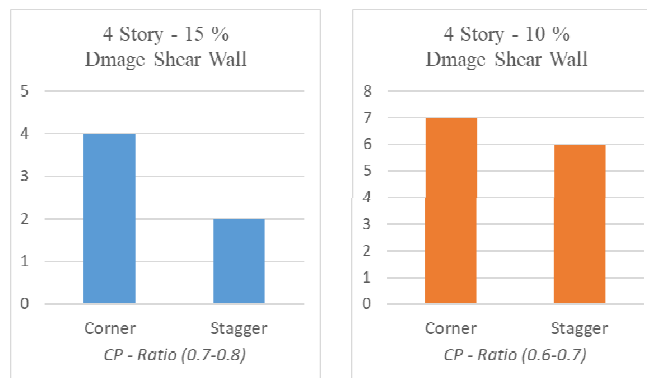


شکل (۱۶): نمودار مقایسه تعداد مفاصل تشکیل شده در اثر خرابی ستون کناری سازه‌های ۴ طبقه با باز شو ۱۵ درصد

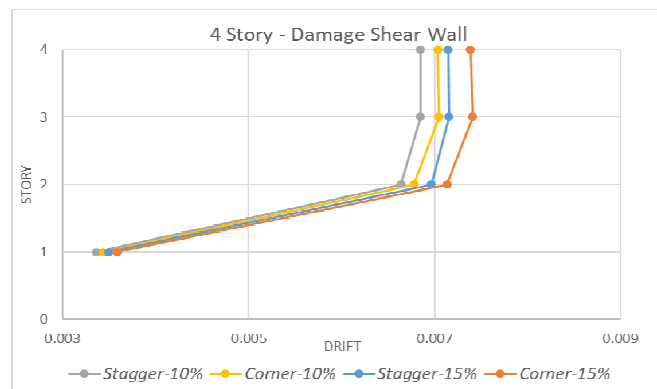
جهت ارزیابی عملکرد سازه‌های چهار طبقه با باز شوهای مشابه که پتانسیل خرابی بیشتری را نسبت به سازه‌های ۸ و ۱۲ دارند، با فرض خرابی دیوار برشی طبقه اول مطابق شکل (۱۷) این سازه‌ها تحت زلزله نورتریج قرار گرفتند و مفاصل تشکیل شده این سازه‌ها در نمودار مقایسه‌ای شکل (۱۸) و حداکثر تغییر مکان جانبی نسبی طبقات این سازه‌ها در شکل (۱۹) نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود نمونه‌های با باز شوهای یک در میان در گوشه عملکرد بهتری داشتند.



شکل (۱۷): خرابی دیوار برشی طبقه اول



شکل (۱۸): نمودار مقایسه تعداد مفاصل تشکیل شده در اثر خرابی دیوار برشی سازه‌های ۴ طبقه

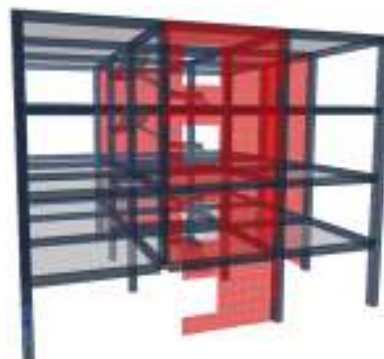


شکل (۱۹): مقایسه حداکثر تغییر مکان جانبی نسبی طبقات در اثر خرابی دیوار برشی سازه‌های ۴ طبقه

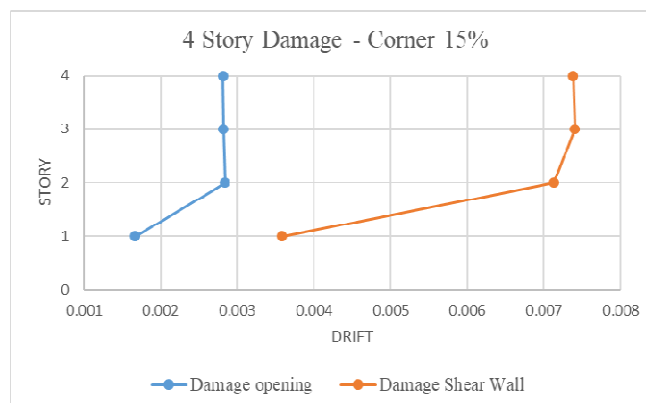
به منظور مقایسه محل بحرانی خرابی دیوار برشی در طبقه اول، دو نمونه از خرابی‌های دیوار برشی در این بخش مقایسه شده‌اند. در نمونه‌های انتخابی مساحت خرابی برابر می‌باشد. از آنجا که اجزاء مرزی به منظور افزایش مقاومت و شکل پذیری دیوارهای برشی در لبه‌ی دیوار تعبیه می‌شوند و نقش مهمی در عملکرد دیوار برشی دارند. طبق شکل (۲۲) حالت خرابی در گوشه بحرانی‌تر می‌باشد.



شکل (۲۱): خرابی دیوار برشی در محل بازشو



شکل (۲۰): خرابی دیوار برشی در گوشه



شکل (۲۲): حداکثر تغییر مکان نسبی طبقات در اثر خرابی دیوار برشی در محل گوشه‌ی دیوار و در محل بازشو

۵- نتیجه گیری

در این تحقیق به ارزیابی دیوارهای برشی بازشودار در ساختمان‌های بتن مسلح و در نظر گرفتن خرابی پیشرونده در این سازه‌ها پرداخته شده است. برای این منظور ابتدا با استفاده از نرم افزار ETABS مدل‌های ساختمانی طراحی و سپس در نرم افزار PERFORM-3D مدل‌های سه بعدی شبیه سازی شدند و تحت تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی و دینامیکی غیرخطی مورد ارزیابی قرار گرفتند. متغیرهای مورد بررسی به ترتیب شامل تعداد طبقات ساختمان (۴، ۸ و ۱۲ طبقه)، موقعیت بازشو (مرکزی، گوشه و یک در میان در گوشه) و درصد بازشوی دیوار (۱۰ و ۱۵ درصد برای سازه های ۴ طبقه و ۱۰ درصد برای سازه های ۸ و ۱۲ طبقه) بودند، در ادامه نتایج حاصل ارائه می گردد.

۱- نتایج نشان می دهد، نزدیکتر کردن بازشوها به کناره های دهانه دیوار می تواند رفتار دیوار را بهبود بخشد. به عبارت دیگر اعمال بازشو در کناره ها باعث افزایش ضریب رفتار و استهلاک بیشتر انرژی نسبت به موقعیت دیگر بازشوها در سازه می گردد.

۲- در تحلیل دینامیکی غیرخطی تحت بار لرزه ای در سازه های ۴ طبقه مشخص شد که اعمال بازشو در کناره ها باعث کاهش مفاصل خمیری، کم تر شدن نیروی برشی بر پایه سازه ها و همچنین کاهش جابجایی نسبی طبقات می گردد. در ضمن نمونه های یک در میان وضعیت بهتری از نمونه های گوشه تحت حالات با خرابی موضعی در خرابی پیشرونده و بدون خرابی موضعی در سازه ها داشتند.

۳- در بحث خرابی پیشرونده، ضریب بار به دست آمده از تحلیل استاتیکی غیرخطی بار افزون عمودی، افزایش تعداد طبقات ساختمان باعث افزایش مقاومت سازه ها در برابر خرابی پیشرونده تحت بارهای ثقلی می شود. همچنین در حذف ستون گوشه تفاوتی میان نتایج نمونه ها با موقعیت بازشوها مختلف بوجود نیامد.

۴- با افزایش تعداد طبقات در نمونه های مورد بررسی، شاخص استواری که به عنوان عدم حساسیت سازه به خرابی موضعی تعریف می شود، افزایش یافته که نشان دهنده مقاوم تر شدن سازه ها در برابر خرابی موضعی می باشد.

۵- با توجه نتایج به دست آمده از برش پایه و جابجایی ها و مفاصل تشکیل شده می توان گفت، افزایش ابعاد بازشوها باعث عملکرد نامطلوب تر سازه می گردد.

۶- توجه به نتایج به دست آمده از تحلیل ها، گسیختگی دیوار برشی در محل گوشه دیوار و در محل اجزاء مرزی باعث افزایش مفاصل و جابجایی نسبی طبقات شده که نتایج بحرانی تری نسبت به وقوع گسیختگی در محل وسط دیوار دارد.

۶- مراجع

- [۱] Ellingwood, B. R., Smilowitz, R., Dusenberry, D. O., Duthinh, D., Lew, H. S., & Carino, N. J. (۲۰۰۷). "Best practices for reducing the potential for progressive collapse in buildings" (No. NIST Interagency/Internal Report (NISTIR)-۷۳۹۶).
- [۲] Lew, H. S. (۲۰۰۳). "Best practices guidelines for mitigation of building progressive collapse". National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, USA, ۲۰۸۹۹-۸611.
- [۳] Menchel, K. (۲۰۰۹). "Progressive collapse: comparison of main standards, formulation and validation of new computational procedures". Universite Libre de Bruxelles, Faculte des Sciences Appliquees, Ph. D. Thesis.
- [۴] Kim, J., & Kim, T. (۲۰۰۹). "Assessment of progressive collapse-resisting capacity of steel moment frames". Journal of Constructional Steel Research, ۶۵(۱), ۱۶۹-۱۷۹.
- [۵] Wibowo, H., & Lau, D. T. (۲۰۰۹). "Seismic progressive collapse: qualitative point of view". Civil Engineering Dimension, ۱۱(۱), ۸-۱۴.
- [۶] Wibowo, H., Reshotkina, S., & Lau, D. (۲۰۰۹, May). "Modelling progressive collapse of RC bridges during earthquakes". In CSCE annual general conference (pp. ۱-۱۱).
- [۷] خان محمدی، م، دادگر، آ. (۱۳۹۱). "بررسی دقت روشهای تحلیل جاری در مدلسازی دیوار برشی بتنی با بازشو". نهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان.

- [۸] زهرائی، س.م.، خیرالدین، ع.، صفا خواه، س.، ثقفی، م.ح. (۱۳۹۵). "ارزیابی سناریوی خرابی پیشرونده در ساختمان های بتن مسلح دارای دیوار برشی با استفاده از تحلیل دینامیکی غیر خطی". دومین کنفرانس ملی مهندسی عمران، معماری و توسعه شهری.
- [۹] آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش چهارم، تهران، مرکز تحقیقات مسکن.
- [۱۰] مبحث نهم مقررات ملی ساختمان. دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، ویرایش چهارم، نشر توسعه ایران، تهران.
- [۱۱] سازمان مدیریت و برنامه ریزی، دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمان های موجود (نشریه شماره ۳۶۰) ویرایش ۹۲.
- [۱۲] مبحث ششم مقررات ملی ساختمان. دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، ویرایش سوم، نشر توسعه ایران، تهران.
- [۱۳] GSA., (۲۰۰۳). "Progressive collapse analysis and design guidelines for new federal office buildings and major modernization projects". The US General Services Administration.

Evaluation of progressive collapse in reinforced concrete shear walls buildings with openings by concerning the position and characteristic of openings

Madandoust Rahmat ^۱, Bahmani Reza ^۲

1-Associate Professor, Civil Engineering Department, University of Guilan

2-Student of Structural Engineering, University of Guilan

rezabahmani.ce@gmail.com

Abstract

Progressive collapse can be defined by the chain wise development of a failure that begins with partial and local damage in a structure due to natural or human hazards. Rupture can be occurring during severe earthquake events due to a bad design or a bad execution of the structure. The inability of the adjacent members of the one which is damaged, to redistribute the overload, causes the failure to occur chain wisely, leading to a failure in the overall or general position of the structure. Adopting shear walls in buildings, due to the hardness and high bearing capacity, makes the building's strength considerably higher. However, some architectural constraints make it unavoidable to provide openings in shear walls, which affects the overall behavior.

In this paper, the behavior of reinforced concrete structures is investigated against progressive collapse by removing the column and shear walls under gravity and seismic loads. The walls are open in different positions and dimensions. ۴, ۸ and ۱۲-story buildings with different position and percentage of openings after initial design, modeled in PERFORM-۳D software and non-linear static analysis and nonlinear dynamics of time histories have been performed to examine the performance of the walls in progressive collapse issue. The results of the analysis show that creating an opening in different dimensions and position affects the performance of the shear wall and causes changes in the structure's behavior against the formation of hinges and failure.

Keywords: progressive collapse, concrete buildings, shear walls, opening

Code A